



PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Lionel Herve et al.
Serial No.: 10/612,099
Filed: July 2, 2003
Title: "METHOD FOR RADIOLOGICAL EXAMINATION OF AN OBJECT"
Docket No.: 35837

LETTER

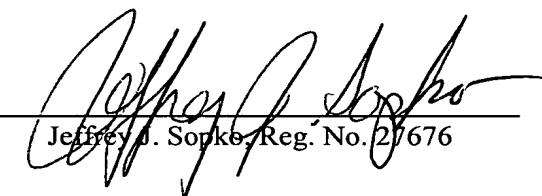
Commissioner of Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir/Madam:

Enclosed is a certified copy of French Patent Application No. 0208513, filed July 5, 2002; the priority of which has been claimed in the above-identified application.

Respectfully submitted,

PEARNE & GORDON LLP



Jeffrey J. Sopko, Reg. No. 27676

1801 East 9th Street
Suite 1200
Cleveland, Ohio 44114-3108
(216) 579-1700

January 30, 2004

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner of Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, Va. 22313-1450 on the date indicated below.

Jeffrey J. Sopko
Name of Attorney for Applicant(s)

01/30/2004
Date

Jeffrey J. Sopko
Signature of Attorney



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 08 JAN. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE', is placed over a stylized, horizontal oval flourish.

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIETE
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr





INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE
26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 260899

Réservé à l'INPI	
REMISE DES PIÈCES DATE LIEU	05/07/2002 99
0208513	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	05 JUIL. 2002
DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI	
Vos références pour ce dossier (facultatif) B 14155.3 JCI DD 2358	

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

BREVATOME

3, rue du Docteur Lancereaux
75008 PARIS
422-5/S002

Confirmation d'un dépôt par télécopie N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE	Cochez l'une des 4 cases suivantes		
Demande de brevet	<input checked="" type="checkbox"/>		
Demande de certificat d'utilité	<input type="checkbox"/>		
Demande divisionnaire	<input type="checkbox"/>		
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale	N°	Date	/ /
	N°	Date	/ /
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale	<input type="checkbox"/>	Date	/ /
	N°	Date	/ /

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

PROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE MULTI-ENERGIE D'UN OBJET

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date / / N°
		Pays ou organisation Date / / N°
		Pays ou organisation Date / / N°
		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Prénoms		
Forme juridique		Etablissement Public de Caractère Scientifique, Technique et Industriel
N° SIREN		
Code APE-NAF		
Adresse	Rue	31-33, rue de la Fédération
	Code postal et ville	75752 PARIS 15ème
Pays		FRANCE
Nationalité		Française
N° de téléphone (facultatif)		
N° de télécopie (facultatif)		
Adresse électronique (facultatif)		

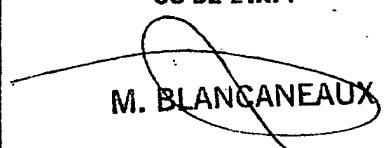
**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES	
DATE 05/07/2022	
LIEU 33	0208513
N° D'ENREGISTREMENT	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	

Réservé à l'INPI

DB 540 W/260899

6 MANDATAIRE	
Nom LEHU	
Prénom Jean	
Cabinet ou Société BREVATOME 422-5/S002	
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel PG 7068	
Adresse	Rue 3, rue du Docteur Lancereaux
	Code postal et ville 75008 PARIS
N° de téléphone (facultatif) 01 53 83 94 00	
N° de télécopie (facultatif) 01 45 63 83 33	
Adresse électronique (facultatif) brevets.patents@brevalex.com	
7 INVENTEUR (S)	
Les inventeurs sont les demandeurs <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE	
Établissement immédiat ou établissement différé <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES	
Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requise antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)	
 J. LEHU	
VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	
 M. BLANGANEAUX	

¹
multi-énergiePROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE D'UN OBJET, COMPRENANT UN
ETALONNAGE DES PROPRIETES D'ATTENUATION DU RAYONNEMENT

DESCRIPTION

5

Cette invention concerne un procédé d'examen radiologique d'un objet, ^{multi-énergie} comprenant un étalonnage des propriétés d'atténuation du rayonnement.

Les procédés radiologiques consistent à faire traverser un objet à étudier par un rayonnement pour en déduire la répartition de différentes catégories de matériaux, absorbant le rayonnement de façons différentes, dans cet objet. Une application très courante est l'ostéodensitométrie, où on recherche la masse et la densité des tissus osseux dans un patient en distinguant ces tissus des tissus mous.

Il est usuel d'utiliser un spectre de rayonnement large et à le diviser en bandes mesurées séparément par des canaux de mesure respectifs. Comme les coefficients d'absorption ou d'atténuation du rayonnement par l'une ou l'autre des catégories de tissu sont différents pour chacune des bandes, le problème théorique se ramène à la solution d'un système d'équations dont le nombre est égal à celui des bandes de mesure et qui comprennent chacune deux inconnues (les épaisseurs ou les masses traversées de tissus et osseux). La solution du problème devient possible après une calibration obtenue en faisant traverser par le rayonnement divers étalons dotés d'épaisseurs connues de matériaux aux propriétés d'absorption analogues à celles des matériaux de mesure, et notamment le

X

PROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE D'UN OBJET
DESCRIPTION

Cette invention concerne un procédé
5 d'examen radiologique multi-énergie d'un objet.

Les procédés radiologiques consistent à faire traverser un objet à étudier par un rayonnement pour en déduire la répartition de différentes catégories de matériaux, absorbant le rayonnement de 10 façons différentes, dans cet objet. Une application très courante est l'ostéodensitométrie, où on recherche la masse et la densité des tissus osseux dans un patient en distinguant ces tissus des tissus mous.

Il est usuel d'utiliser un spectre de 15 rayonnement large et à le diviser en bandes mesurées séparément par des canaux de mesure respectifs. Comme les coefficients d'absorption ou d'atténuation du rayonnement par l'une ou l'autre des catégories de tissu sont différents pour chacune des bandes, le 20 problème théorique se ramène à la solution d'un système d'équations dont le nombre est égal à celui des bandes de mesure et qui comprennent chacune deux inconnues (les épaisseurs ou les masses traversées de tissus mous et osseux). La solution du problème devient possible 25 après une calibration obtenue en faisant traverser par le rayonnement divers étalons dotés d'épaisseurs connues de matériaux aux propriétés d'absorption analogues à celles des matériaux de mesure, et notamment le plexiglas et l'hydroxyapatite pour simuler 30 les tissus mous et les tissus osseux. On peut alors, calculer les paramètres mathématiques d'un modèle

plexiglas et l'hydroxyapatite pour simuler les tissus mous et les tissus osseux. ~~On peut alors calculer les paramètres mathématiques d'un modèle reliant la mesure d'équation analogue à celui qu'on a évoqué, et dans d'altération aux épaisseurs des matériaux~~ ~~quel les inconnues sont cette fois les coefficients~~

5 ~~d'absorption des matériaux, permet de calculer ceux-ci et de les appliquer à ce système d'équations précédent.~~

On notera qu'en réalité le corps humain contient trois catégories principales de tissus : les tissus osseux, les tissus maigres et les tissus gras, 10 mais qu'on n'en considère que deux en général à cause de difficultés à distinguer ces trois catégories dans les mesures, de sorte qu'on confond volontairement les tissus maigres et gras. D'autres procédés sont ensuite appliqués pour distinguer leurs proportions dans les 15 tissus mous.

La largeur du spectre permet de disposer d'un nombre beaucoup plus grand de bandes de mesures ~~pour obtenir une solution~~ qu'il ne serait nécessaire, et de les employer toutes pour obtenir des résultats ~~plus précis~~ supplémentaires en 20 exploitant toute l'information d'absorption obtenue. Dans l'article "Measurement of bone mineral using a multiple-energy x-ray absorptiometry", par J. Swanpalmer, R. Kullenberg, T. Hansson, Phys. Med. Biol., Vol 43, 1997:pp 379-387, où on dispose de 23 bandes de 25 mesures et où on considère les trois catégories de tissus, il est proposé de combiner les groupes de mesures trois par trois de toutes les façons possibles pour obtenir 1771 (23x22x21/2x3) systèmes de trois équations à trois inconnues qui donnent autant de 30 groupes de résultats. Il convient alors d'appliquer un critère de choix. Les auteurs conseillent de choisir

reliant les mesures d'atténuation aux épaisseurs des matériaux.

On notera qu'en réalité le corps humain contient trois catégories principales de tissus : les 5 tissus osseux, les tissus maigres et les tissus gras, mais qu'on n'en considère que deux en général à cause de difficultés à distinguer ces trois catégories dans les mesures, de sorte qu'on confond volontairement les tissus maigres et gras. D'autres procédés sont ensuite 10 appliqués pour distinguer leurs proportions dans les tissus mous.

La largeur du spectre permet de disposer d'un nombre beaucoup plus grand de bandes de mesures qu'il ne serait nécessaire pour obtenir une solution, 15 et de les employer toutes pour obtenir des résultats plus précis en exploitant toute l'information d'absorption obtenue. Dans l'article "Measurement of bone mineral using a multiple-energy x-ray absorptiometry", par J. Swanpalmer, R. Kullenberg, T. 20 Hansson, Phys. Med. Biol., Vol 43, 1997:pp 379-387, où on dispose de 23 bandes de mesures et où on considère les trois catégories de tissus, il est proposé de combiner les groupes de mesures trois par trois de toutes les façons possibles pour obtenir 1771 (23x22x21/2x3) 25 systèmes de trois équations à trois inconnues qui donnent autant de groupes de résultats. Il convient alors d'appliquer un critère de choix. Les auteurs conseillent de choisir comme résultat véridique celui qui est à la valeur moyenne, ou à la valeur médiane, 30 pour le paramètre le plus important, qui peut être la masse osseuse traversée.

comme résultat véridique celui qui est à la valeur moyenne, ou à la valeur médiane, pour le paramètre le plus important, qui peut être la masse osseuse traversée.

5 Contrairement à ce qu'on a conseillé plus haut, les auteurs considèrent les trois catégories de tissus. Cela ne met pas en question la validité de leur méthode, à condition d'exposer le patient à une intensité d'irradiation beaucoup plus forte pour
10 ramener les incertitudes des mesures à des proportions acceptables. Il serait d'ailleurs possible de modifier simplement leur méthode pour l'appliquer à des mesures sur deux tissus, ou plus généralement deux catégories de matériaux, seulement. Toutefois, il subsiste le
15 défaut que cette méthode ne tient pas compte du bruit sur les mesures et qu'elle conduit donc à des résultats bruités ~~et il apparaît que beaucoup de groupes de mesures sont peu différents, de sorte que leur combinaison ne produit pas de solution précise aux systèmes d'équations où ils sont associés et qu'une grande partie des calculs de combinaison est donc sujette à caution.~~
20

L'invention a pour objet un perfectionnement de tels procédés par combinaison de résultats nombreux et comprend une amélioration du critère de choix des résultats. Plus précisément, elle concerne sous sa forme la plus générale un procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées ~~ou moins~~ deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi
25 d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions

Contrairement à ce qu'on a conseillé plus haut, les auteurs considèrent les trois catégories de tissus. Cela ne met pas en question la validité de leur méthode, à condition d'exposer le patient à une 5 intensité d'irradiation beaucoup plus forte pour ramener les incertitudes des mesures à des proportions acceptables. Il serait d'ailleurs possible de modifier simplement leur méthode pour l'appliquer à des mesures sur deux tissus, ou plus généralement deux catégories 10 de matériaux, seulement. Toutefois, il subsiste le défaut que cette méthode ne tient pas compte du bruit sur les mesures et qu'elle conduit donc à des résultats bruités.

L'invention a pour objet un 15 perfectionnement de tels procédés par combinaison de résultats nombreux et comprend une amélioration du critère de choix des résultats. Plus précisément, elle concerne sous sa forme la plus générale un procédé 20 d'examen radiologique d'un objet où sont considérées au moins deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les 25 expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficient (A) ; et l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée vérifique ; caractérisé en ce que le 30 critère de choix comprend un combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a) , et un

(\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficient (A) ; et 5 l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M} finale) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend un combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un 10 calcul de facteurs de pondération de manière que la combinaison ait une ^{bruit} ~~variation~~ ^(variance minimale) minimal ^{d'après des} ^{bruits sur les} ^{variations des mesures.} ^(variance sur la mesure) ^{calculée} ^{l'oubli} ^{mathématique}

12 L'invention sera maintenant décrite en référence aux figures :

15 - la figure 1 est une vue d'un spectre,
- la figure 2 est une répartition de résultats,
- et la figure 3 est un organigramme résumant l'invention, auquel on pourra se reporter dans 20 toute la description qui suit.

25 L'atténuation du rayonnement peut être exprimée par une fonction des épaisseurs traversées de chacun des matériaux d'indices x et y , ou de leurs masses M (densités par unité de surface) dans la direction du rayonnement. Le spectre de mesures de la figure 1 est divisé en N bandes notées généralement par les indices i et j . Les atténuations varieront dans chacune des bandes en raison de coefficients d'absorption variables pour les deux matériaux. Si nous 30 appelons mes_i ou mes_j les mesures pour une bande d'énergie i ou j , les masses traversées M_x et M_y

calcul de facteurs de pondération de manière que la combinaison ait un bruit minimal (variance minimale en langage mathématique) calculé d'après les bruits sur les mesures (variances sur les mesures).

5 L'invention sera maintenant décrite en référence aux figures :

- la figure 1 est une vue d'un spectre,
- la figure 2 est une répartition de résultats,
- 10 - et la figure 3 est un organigramme résumant l'invention, auquel on pourra se reporter dans toute la description qui suit.

L'atténuation du rayonnement peut être exprimée par une fonction des épaisseurs traversées de chacun des matériaux d'indices x et y , ou de leurs masses M (densités par unité de surface) dans la direction du rayonnement. Le spectre de mesures de la figure 1 est divisé en N bandes notées généralement par les indices i et j . Les atténuations varieront dans chacune des bandes en raison de coefficients d'absorption variables pour les deux matériaux. Si nous appelons mes_i ou mes_j les mesures pour une bande d'énergie i ou j , les masses traversées M_x et M_y pourront chacune être exprimées aussi, par exemple, par

25 la formule générale

$$\hat{M} = A_1 + A_2 \cdot mes_i + A_3 \cdot mes_j + A_4 \cdot mes_i^2 + A_5 \cdot mes_j^2 + A_6 \cdot mes_i \cdot mes_j$$
.. les mesures considérées dans cet exemple étant des mesures d'atténuation, on aura pour chaque canal de mesure i (correspondant à une bande du spectre) la relation $mes_i = \ln \left(\frac{noi}{ni} \right)$ où noi est le nombre de photons arrivant sur l'objet et ni celui des photons ayant traversé l'objet.

* Par exemple, pour l'analyse d'objets constitués de matériaux ayant de nombreux atomes plus élevés que celui de tissus biologiques, comme ~~par exemple dans~~ le coquille non-destructif pour l'examen d'un objet métallique.

pourront chacune être exprimées aussi, par exemple, par la formule générale

$$\hat{M} = A_1 + A_2 \cdot mes_1 + A_3 \cdot mes_2 + A_4 \cdot mes_3^2 + A_5 \cdot mes_4^2 + A_6 \cdot mes_5 \cdot mes_6$$

la non-linéarité des fonctions M_x et M_y en fonction des mesures est faible en pratique, on peut s'accommoder de cette fonction polynomiale du deuxième degré qui comprend six coefficients A_1 à A_6 . *Le degré du polynôme peut être ajusté en fonction du problème,*

Ces coefficients peuvent être trouvés dans une étape d'étalonnage à travers des étalons, appelés parfois fantômes ou cales dans l'art, et qui consistent en des pièces formées d'épaisseurs connues et différentes entre elles de matériaux simulant, par leurs propriétés d'atténuation, les matériaux de l'objet qui sera effectivement à mesurer. Chacun des étalons est donc soumis à une irradiation par le rayonnement pendant une longue durée qui permet de réduire l'influence du bruit sur les mesures. Le spectre mesuré pour chacun des étalons donne encore N mesures résultant de la décomposition du spectre en autant de bandes. En combinant maintenant deux séries de mesures i et j prises pour deux bandes et pour chacun des étalons, on recherche les coefficients A pour ajuster les fonctions M_x et M_y aux mesures. Dans le cas présent, où il y a six coefficients A pour chacune des deux fonctions, et où on considère les combinaisons de deux bandes de mesure, les mesures pour chacune des bandes devront, pour fournir une solution unique, porter sur six étalons. Des étalons plus nombreux pourront aussi être utilisés pour améliorer la précision sur la solution. Une minimisation de fonction d'erreur sera alors appliquée.

* Les mesures considérées dans cet exemple étant de mesures d'atténuation, on aura pour ~~pour~~ pour chaque canal de mesure i B 14155.3/JCI (correspondant à une bande du spectre) la relation $mes_i = \ln(moi/mi)$, où moi est le nombre de photons

arrivant à l'objet et mi le nombre de photons traversant l'objet.



Comme la non-linéarité des fonctions M_x et M_y en fonction des mesures est faible en pratique, on peut s'accommoder de cette fonction polynomiale du deuxième degré qui comprend six coefficients A_1 à A_6 . Le degré du 5 polynôme peut être ajusté en fonction du problème ; Par exemple, pour l'analyse d'objets constitués de matériaux ayant des numéros atomiques plus élevés que celui des tissus biologiques, comme le contrôle non destructif pour l'examen d'un objet métallique. les 10 mesures considérées dans cet exemple étant des mesures d'atténuation, on aura pour chaque canal de mesure i (correspondant à une bande du spectre) la relation $mes_i = \ln \left(\frac{noi}{ni} \right)$ où noi est le nombre de photons arrivant sur l'objet et ni celui des photons ayant traversé l'objet.

15 Ces coefficients peuvent être trouvés dans une étape d'étalonnage à travers des étalons, appelés parfois fantômes ou cales dans l'art, et qui consistent en des pièces formées d'épaisseurs connues et différentes entre elles de matériaux simulant, par 20 leurs propriétés d'atténuation, les matériaux de l'objet qui sera effectivement à mesurer. Chacun des étalons est donc soumis à une irradiation par le rayonnement pendant une longue durée qui permet de réduire l'influence du bruit sur les mesures. Le 25 spectre mesuré pour chacun des étalons donne encore N mesures résultant de la décomposition du spectre en autant de bandes. En combinant maintenant deux séries de mesures i et j prises pour deux bandes et pour chacun des étalons, on recherche les coefficients A pour ajuster les fonctions M_x et M_y aux mesures. Dans le 30 cas présent, où il y a six coefficients A pour chacune

Cette détermination des coefficients A est répétée pour diverses combinaisons de paires de mesures. Il en était encore ainsi dans l'article antérieur mentionné plus haut ; cependant, on a 5 constaté qu'il était inutile d'effectuer toutes les combinaisons, au nombre de $\frac{Nx(N-1)}{2}$, pour exploiter complètement les mesures et que (N-1) combinaison étaient en réalité suffisantes pour recueillir toute l'information.

10 Une façon préférée de procéder consiste à choisir au départ la bande de mesures qui est la moins bruitée (par exemple celle qui a le signal le plus grand important) et à l'associer successivement à chacune des autres bandes de mesures pour les combinaisons. On 15 obtient finalement (N-1) estimations des deux fonctions M_x et M_y , qu'on note $\hat{M}_1, \hat{M}_2, \dots, \hat{M}_{N-1}$ pour chacune de ces deux fonctions.

n = le nombre de combinaisons
récepteur

20 A ce stade du procédé, les fonctions M_x et M_y , représentatives des longueurs traversées de deux matériaux représentatifs des tissus osseux et des tissus mous, pourront être converties en fonctions M_U , M_V et M_W représentatives des longueurs équivalentes traversées des tissus osseux, des tissus maigres et des tissus gras en combinant linéairement M_x et M_y de trois 25 façons différentes déterminées par l'expérience. Ce procédé de conversion est indépendant de l'invention, déjà connu dans l'art. ~~et ne s'applique d'ailleurs qu'à l'étude d'organismes vivants.~~

X

30 Comme il n'y a pas de raison de préférer l'une ou l'autre de ces estimations \hat{M} , un critère de

des deux fonctions, et où on considère les combinaisons de deux bandes de mesure, les mesures pour chacune des bandes devront, pour fournir une solution unique, porter sur six étalons. Des étalons plus nombreux 5 pourront aussi être utilisés pour améliorer la précision sur la solution. Une minimisation de fonction d'erreur sera alors appliquée.

Cette détermination des coefficients A est répétée pour diverses combinaisons de paires de 10 mesures. Il en était encore ainsi dans l'article antérieur mentionné plus haut ; cependant, on a constaté qu'il était inutile d'effectuer toutes les combinaisons, au nombre de $\frac{Nx(N-1)}{2}$, pour exploiter complètement les mesures et que $(N-1)$ combinaison 15 étaient en réalité suffisantes pour recueillir toute l'information.

Une façon préférée de procéder consiste à choisir au départ la bande de mesures qui est la moins bruitée (par exemple celle qui a le signal n - le 20 nombre de photons à la réception- le plus important) et à l'associer successivement à chacune des autres bandes de mesures pour les combinaisons. On obtient finalement $(N-1)$ estimations des deux fonctions M_x et M_y , qu'on note $\hat{M}_1, \hat{M}_2, \dots, \hat{M}_{N-1}$ pour chacune de ces deux fonctions.

25 A ce stade du procédé, les fonctions M_x et M_y , représentatives des longueurs traversées de deux matériaux représentatifs des tissus osseux et des tissus mous, pourront être converties en fonction M_u , M_v et M_w représentatives des longueurs équivalentes 30 traversées des tissus osseux, des tissus maigres et des

choix doit être appliqué pour obtenir l'estimation \hat{M} finale qui sera jugée véridique. Dans l'article antérieur, une des expressions obtenues était directement sélectionnée d'après un critère de classement (le résultat médian) ou de moyenne des valeurs prises par les expressions pour un des résultats. Dans l'invention, les expressions \hat{M} seront combinées, par exemple linéairement, d'après la formule \hat{M} finale = $(a_1 \hat{M}_1) + (a_2 \hat{M}_2) + \dots + (a_{N-1} \hat{M}_{N-1})$ tout en minimisant le bruit ; les coefficients a_1 , etc. ont une somme égale à l'unité ($a_1 + a_2 + \dots + a_{N-1} = 1$).

Pour chaque canal de mesure, le bruit suit une loi statistique de Poisson, dont le résultat est indépendant pour chacun des canaux. La matrice de covariance des $N-1$ résultats peut être exprimée d'après

$$\text{la formule } \Gamma_y = \sum_{k=1}^{N-1} \frac{\partial \hat{M}_k}{\partial \text{mes}_k} \frac{\partial \hat{M}_k}{\partial \text{mes}_k}^T \frac{1}{N_k}$$

La variance sur la combinaison linéaire donnant \hat{M} finale s'exprime par la formule $f = (a_1, \dots, a_{N-1}) \cdot \Gamma_y \cdot (a_1, \dots, a_{N-1})^T$; cette quantité f atteint une valeur optimale quand sa dérivée selon toutes les variables est nulle, c'est-à-dire que l'influence du bruit est

minimisée, soit :

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial a_2} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial f}{\partial a_{N-1}} = 0 \end{cases}$$

La résolution numérique de ce système fournit les coefficients a_1 , a_2 , etc et \hat{M} finale,

tissus gras en combinant linéairement M_x et M_y de trois façons différentes déterminées par l'expérience. Ce procédé de conversion est indépendant de l'invention, déjà connu dans l'art.

5 Comme il n'y a pas de raison de préférer l'une ou l'autre de ces estimations \hat{M} , un critère de choix doit être appliqué pour obtenir l'estimation \hat{M}_{finale} qui sera jugée vérifique. Dans l'article antérieur, une des expressions obtenues était 10 directement sélectionnée d'après un critère de classement (le résultat médian) ou de moyenne des valeurs prises par les expressions pour un des résultats. Dans l'invention, les expressions \hat{M} seront combinées, par exemple linéairement, d'après la formule 15 $\hat{M}_{finale} = (a_1 \hat{M}_1) + (a_2 \hat{M}_2) + \dots + (a_{N-1} \hat{M}_{N-1})$ tout en minimisant le bruit ; les coefficients a_1 , etc. ont une somme égale à l'unité ($a_1 + a_2 + \dots + a_{N-1} = 1$).

20 Pour chaque canal de mesure, le bruit sur le nombre de photons suit une loi statistique de Poisson, dont le résultat est indépendant pour chacun des canaux. La matrice de covariance des $N-1$ résultats peut être exprimée d'après la formule

$$\Gamma_{ij} = \sum_{k=1}^{N-1} \frac{\partial \hat{M}_i}{\partial mes_k} \frac{\partial \hat{M}_j}{\partial mes_k} \frac{1}{N_k}.$$

25 La variance sur la combinaison linéaire donnant \hat{M} finale s'exprime par la formule $f = (a_1, \dots, a_{N-1}) \cdot \Gamma \cdot (a_1, \dots, a_{N-1})^t$; cette quantité f atteint une valeur optimale quand sa dérivée selon toutes les variables

c'est-à-dire les masses traversées des deux catégories de matériaux.

5 Ce sont ces opérations qui sont accomplies dans l'invention ; il est important de remarquer que les mesures (m_{sk}) employées dans la formule donnant Γ_0 et ensuite sont les mesures effectuées à travers l'objet à étudier lui-même, mais pas celles qui ont été faites à l'étalonnage pour déterminer les coefficients A des fonctions \hat{M} .

10 L'invention permet d'échapper au dilemme de procédés antérieurs dans lesquels on renonçait à une partie des énergies de mesure ou au contraire on acceptait des mesures peu distinctes : elle utilise en effet tout le spectre, mais le divisant en bandes assez 15 nombreuses pour que la mesure de chacune puisse être comparée de façon utile à d'autres mesures, faites sur des bandes éloignées. Elle permet ainsi, entre autres avantages, d'étudier aussi bien des organismes maigres que gras.

20 Enfin, l'invention peut être généralisée à un nombre de matériaux plus grand que deux, ce qui peut être intéressant notamment pour les procédés d'imagerie à produit de contraste où trois variables doivent être 25 considérées ~~au jeu le couloir de bagage (recherche d'explosifs)~~ et elle peut être appliquée en considérant des combinaisons autres que linéaires des fonctions \hat{M} , ~~par exemple en appliquant le procédé ACP (Analyse du composant Principal) connu dans l'art et mentionné par exemple dans l'article de Maitrejean, Périon et Sundermann et intitulé "Non destructive 30 chemical identification using an X-ray transmission function obtained with the multi-energy method", Proc.~~

X

est nulle, c'est-à-dire que l'influence du bruit est

minimisée, soit :
$$\begin{cases} \partial f / \partial a_1 = 0 \\ \partial f / \partial a_2 = 0 \\ \dots \\ \partial f / \partial a_{N-1} = 0 \end{cases}$$

La résolution numérique de ce système
5 fournit les coefficients a_1 , a_2 , etc et \hat{M} finale,
c'est-à-dire les masses traversées des deux catégories
de matériaux.

10 Ce sont ces opérations qui sont accomplies
dans l'invention ; il est important de remarquer que
les mesures (mes_k) employées dans la formule donnant Γ_{ij}
et ensuite sont les mesures effectuées à travers
l'objet à étudier lui-même, mais pas celles qui ont été
faites à l'étalonnage pour déterminer les coefficients
A des fonctions \hat{M} .

15 L'invention permet d'échapper au dilemme de
procédés antérieurs dans lesquels on renonçait à une
partie des énergies de mesure ou au contraire on
acceptait des mesures peu distinctes : elle utilise en
effet tout le spectre, mais en le divisant en bandes
20 assez nombreuses pour que la mesure de chacune puisse
être comparée de façon utile à d'autres mesures, faites
sur des bandes éloignées. Elle permet ainsi, entre
autres avantages, d'étudier aussi bien des organismes
maigres que gras.

25 Enfin, l'invention peut être généralisée à
un nombre de matériaux plus grand que deux, ce qui peut
être intéressant notamment pour les procédés d'imagerie
à produit de contraste, où trois variables doivent être

SPIE vol. 3446, p.134-152, Hard X-ray and gamma-ray detector physics and applications, édité par F. Patrick Doty et Richard B. Hoover.

Des Applications de l'invention sont :

faire (
 ~~une revendication~~)

- l'ostéodensitométrie

- obtention de la densité de masse corporelle

et/ou

- obtention de la composition corporelle
(masse grasse, masse maigre)

le

- contrôle agro-alimentaire, par exemple la
tue. détection de fragments d'os dans de la viande
ou la détection de morceau de verre dans de plats
cuisinés,

• contrôle des bagages : recherche d'explosifs, de produits
illégaux (armes, aliments, drogue ...)

considérées ou pour contrôle des bagages (recherche d'explosifs) ; et elle peut être appliquée en considérant des combinaisons autres que linéaires des fonctions \hat{M} .

5 Des applications de l'invention sont :

. l'ostéodensitométrie

- obtention de la densité de masse osseuse

10 - obtention de la composition corporelle (masse grasse, masse maigre)

15 . le contrôle agro-alimentaire, par exemple la détection de fragments d'os dans de la viande ou la détection de morceaux de verres dans des plats cuisinés,

. le contrôle des bagages : recherche d'explosifs, de produits illicites (armes, aliments, drogue...)

REVENDICATIONS

1) Procédé d'examen radiologique d'un objet
au moins où sont considérées deux catégories de matériaux,
5 comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (m_{sk}) et de coefficients (A) ; et l'application d'un critère de 10 choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) 15 des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un calcul des facteurs de pondération de manière que la combinaison ait un bruit ^{calculé} ~~une variation minimale~~ d'après ~~le~~ un ~~bruit sur les~~ ~~variations des~~ mesures.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la combinaison (f) des expressions est linéaire. *l'une quelconque des* ~~les~~ ^{tous}

3) Procédé selon ~~les~~ revendications 2, caractérisé en ce que la variation de la combinaison est calculée avec une matrice de covariance (Γ_{ij}) des 25 expressions (\hat{M}).

4) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les expressions (\hat{M}) sont en nombre égal à celui des bandes, moins un, et établies toujours avec une des

REVENDICATIONS

1) Procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées au moins deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficients (A) ; et l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée vérifique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a) , et un calcul des facteurs de pondération de manière que la combinaison ait un bruit minimal calculé d'après un bruit sur les mesures.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la combinaison (f) des expressions est linéaire.

3) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la variation de la combinaison est calculée avec une matrice de covariance (Γ_{ij}) des expressions (\hat{M}) .

4) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les expressions (\hat{M}) sont en nombre égal à celui des bandes, moins un, et établies toujours avec une des

bandes (10) et, respectivement, chacune des autres bandes.

5) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les 5 coefficients (A) sont déterminés à une étape préalable de calibration.

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'ostéodensitométrie.

7) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué à des unités gyro-olimétriques.

8) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué au contrôle de l'ajustage.

bandes (io) et, respectivement, chacune des autres bandes.

5) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les 5 coefficients (A) sont déterminés à une étape préalable de calibration.

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'ostéodensitométrie.

10 7) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué à des contrôles agro-alimentaires.

15 8) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué au contrôle de bagages.

1 / 2

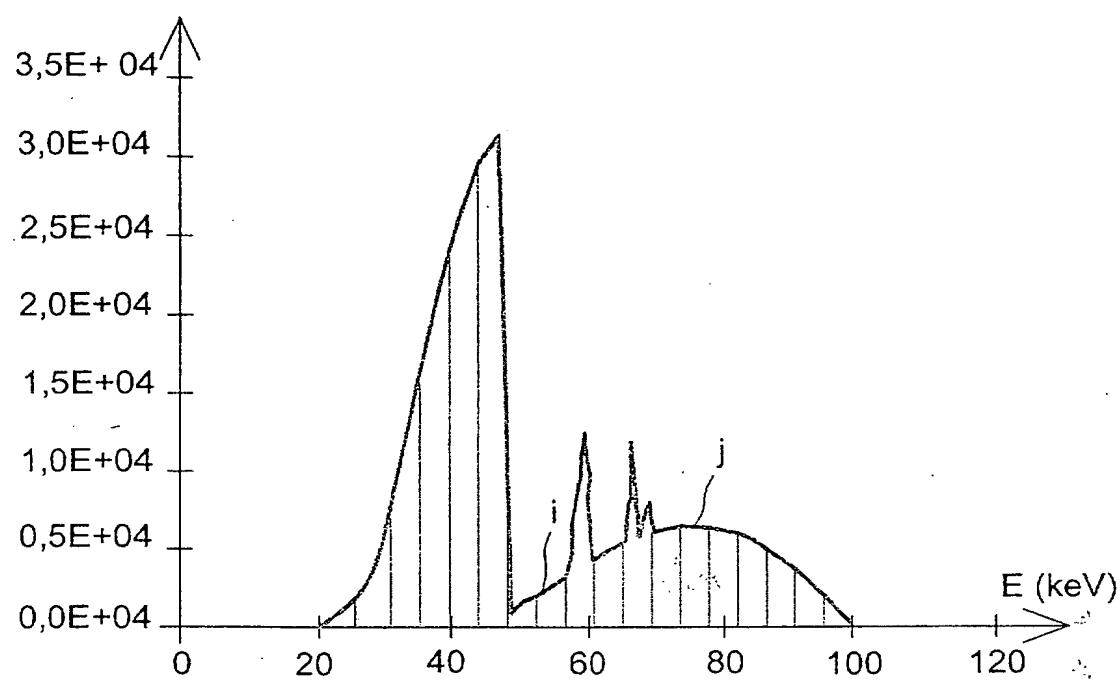


FIG. 1

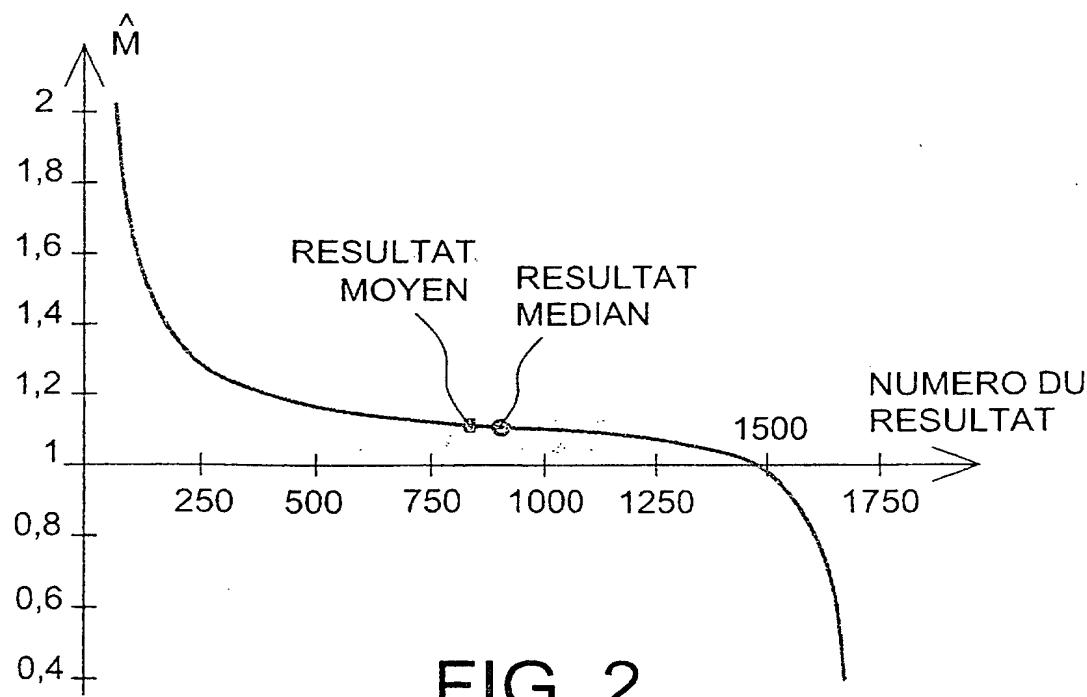


FIG. 2

1 / 2

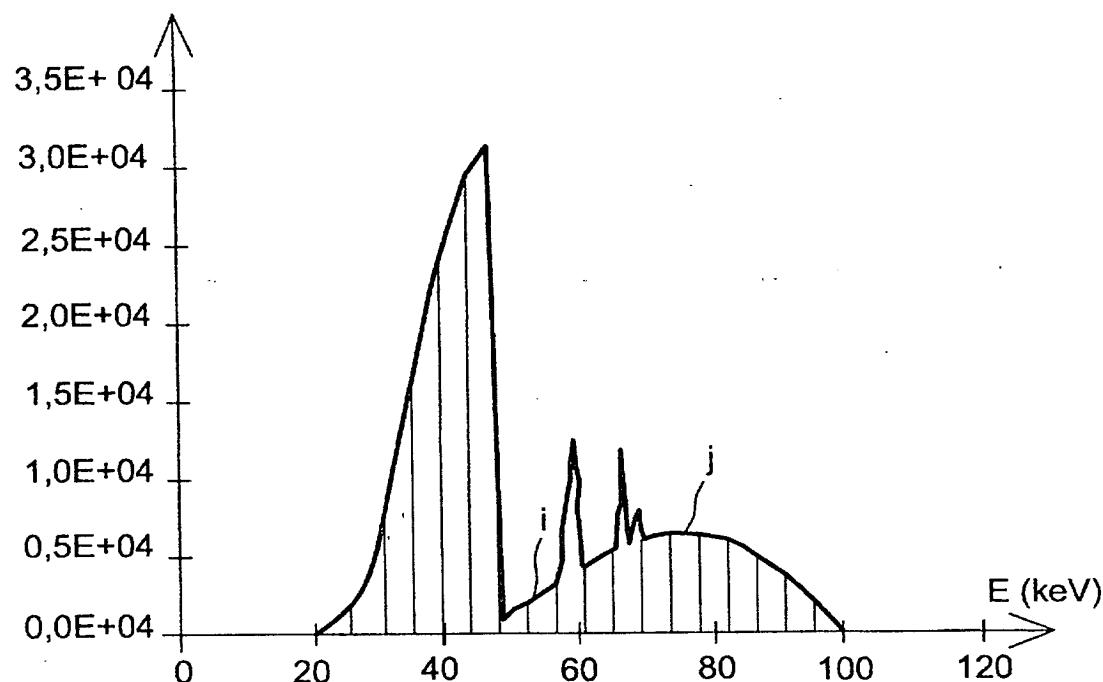


FIG. 1

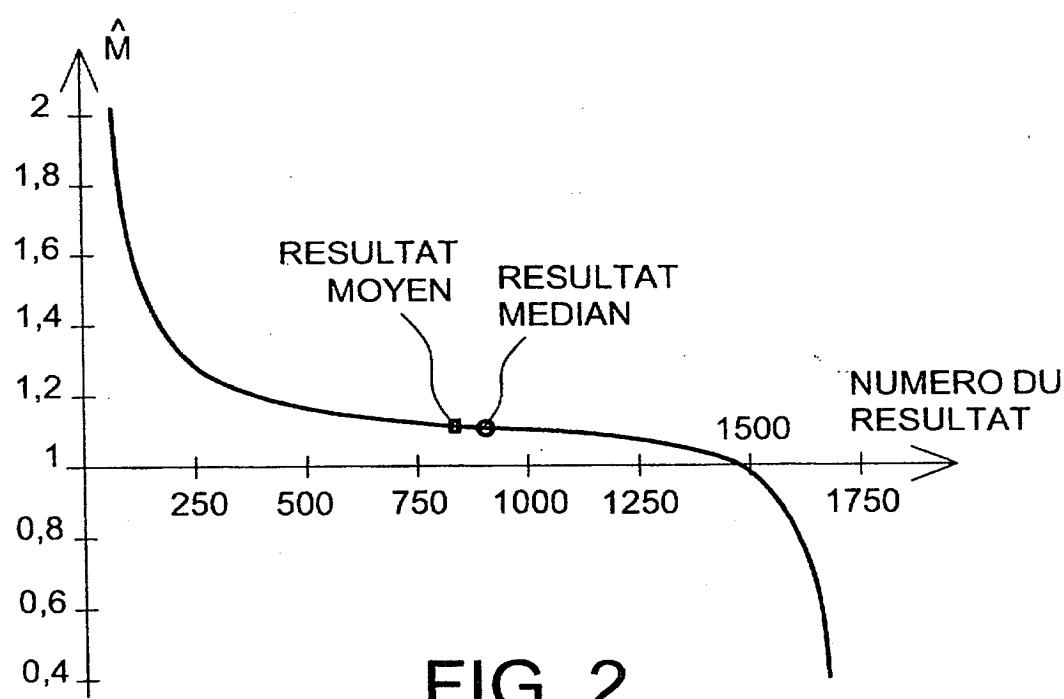


FIG. 2

2 / 2

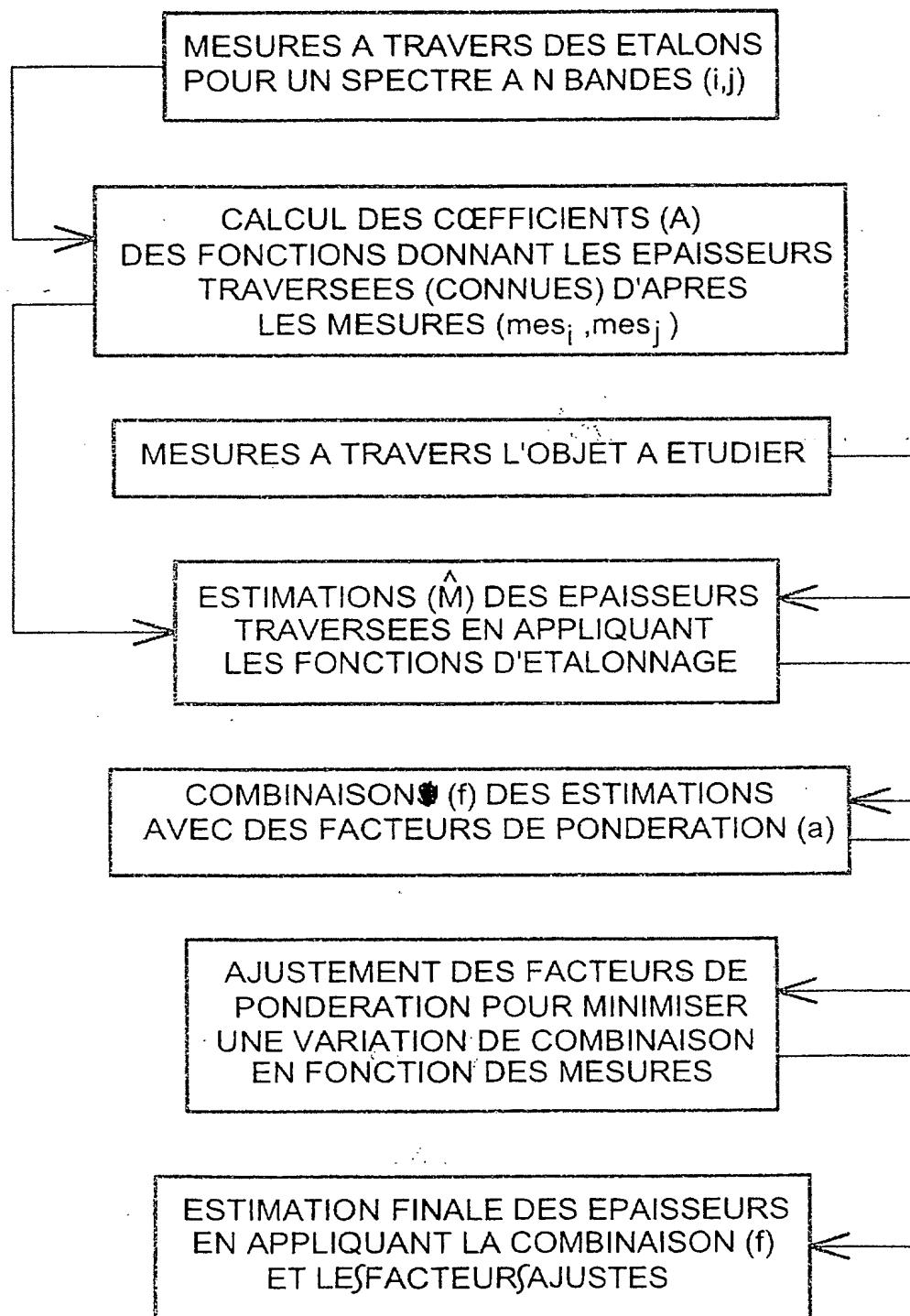


FIG. 3

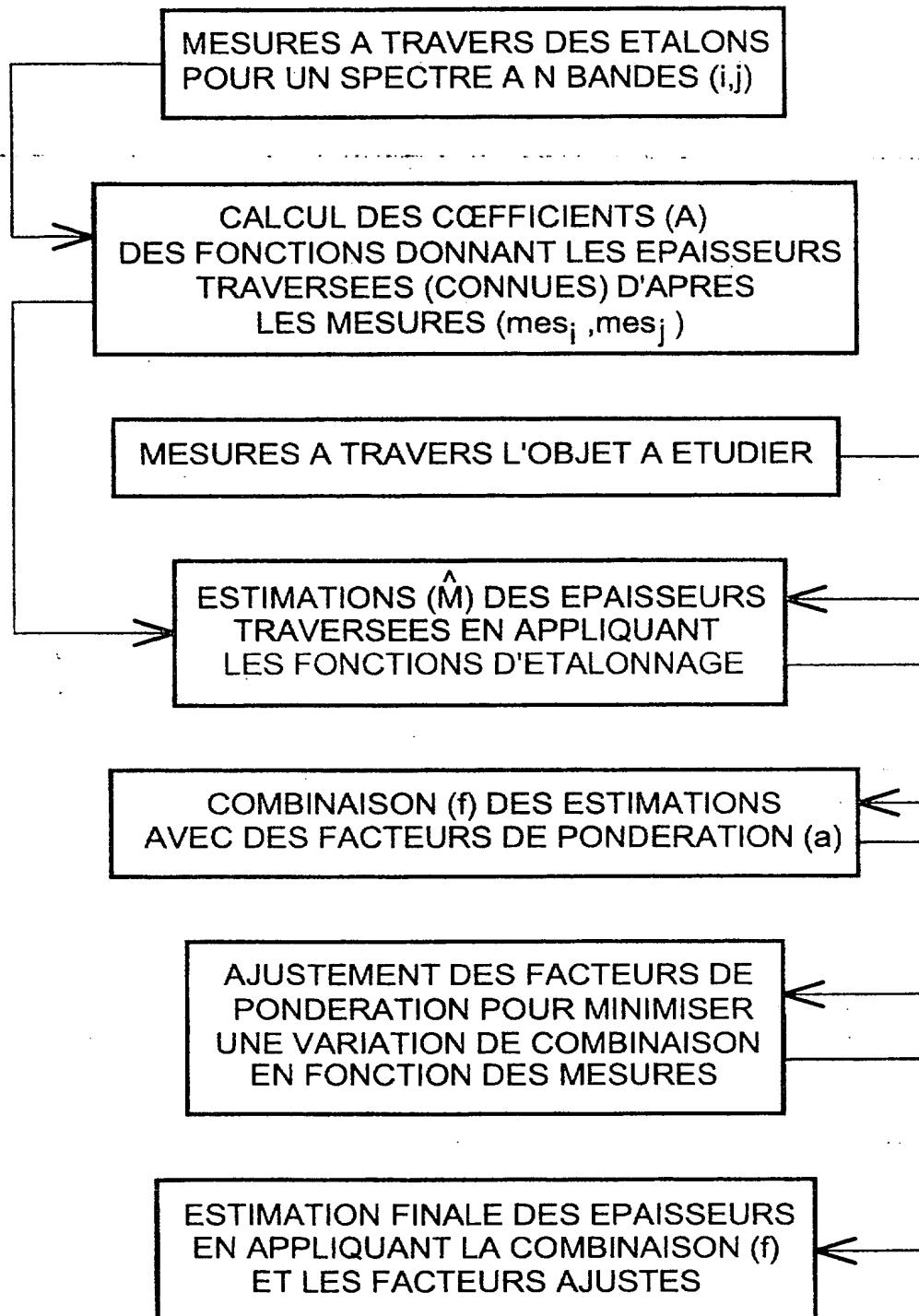


FIG. 3

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		B 14155.3/JCI	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.08513 du 05.07.2002	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE MULTI-ENERGIE D'UN OBJET.			
LE(S) DEMANDEUR(S) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		HERVE	
Prénoms		Lionel	
Adresse	Rue	20 avenue du Général Champon	
	Code postal et ville	38100	GRENOBLE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		ROBERT-COUTANT	
Prénoms		Christine	
Adresse	Rue	109 impasse de Luiset	
	Code postal et ville	38410	SAINT- MARTIN -D'URIAGE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		PARIS LE 10 Septembre 2002	
J. LEHU			
422-5/002			

